

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Сабірзянов, проф., д-р техн. наук,  
О.І. Садченко, асп.

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Визначення органічної похибки профілювання черв'ячних фрез з поділенням профілем інструментальної рейки

Визначено похибку профілювання від заміни евольвентного початкового черв'яка на архімедовий початковий черв'як для черв'ячних фрез з поділенням по висоті на три частини профілем інструментальної рейки. Запропоновано схему та проведені теоретичні дослідження для визначення похибки профілювання нових черв'ячних фрез.

**черв'ячна фреза, поділений профіль інструментальної рейки, похибка профілювання**

**Вступ.** При виконанні задач, що поставлені перед машинобудуванням, щодо подальшого підвищення ефективності виробництва, велике значення має раціональна експлуатація існуючих, а також дослідження і впровадження нових ріжучих інструментів. Одним з таких нових ріжучих інструментів є черв'ячні фрези з поділенням профілем інструментальної рейки, що мають практично вдвічі більшу кількість зубців ніж відомі черв'ячні фрези. Тому, дослідження черв'ячних фрез з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки є актуальною науковою задачею.

**Аналіз літературних джерел.** В роботах [1,2] на основі аналізу процесу переносу похибок фрези на профіль зубців оброблюваного виробу всі похибки, що виникають в процесі зубофрезерування розділені на три групи: проектування, виготовлення та експлуатації. До похибок проектування в першу чергу відносять похибки, що пов'язані з вибором геометричних та конструктивних параметрів черв'ячних фрез [1]. Основною складовою похибки профілю зуборізних черв'ячних фрез є органічна похибка профілювання [1], що викликана заміною теоретично точного евольвентного початкового черв'яка фрези архімедовим початковим черв'яком, як, наприклад, для чистових черв'ячних фрез за ГОСТ 9324 класу точності А та АА.

В роботах [3,4] запропоновано для підвищення кількості зубців чистових черв'ячних фрез класу точності А та АА за ГОСТ 9324 скористатися розділенням профілю інструментальної рейки нормального початкового контуру по висоті на три частини між фрезами для трьох послідовних проходів, причому у фрези для першого проходу зубці відповідають профілю ніжки зубців інструментальної рейки, а зубці фрези для третього проходу відповідають голови зубців профілю інструментальної рейки. Висота зубців фрез першого, другого та третього проходів є однаковою і дорівнює третині висоти зубця рейки нормального початкового контуру. Для усунення перехідного сліду на робочих поверхнях зубців черв'ячного колеса на зубцях фрез першого та зубцях фрез другого проходу виконується перекриття по висоті зубців на величину  $e = 0,25m_0$ . Розглянуті нові черв'ячні фрези мають кількість зубців в 1,8...2,2 рази більше ніж відповідний показник для черв'ячних фрез за ГОСТ 9324.

З точки зору підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс найбільший інтерес викликають черв'ячні фрези, що працюють з тангенціальною подачею.

Вони забезпечують більшу кількість профілюючих різів, що зменшує огранку зубців черв'ячного колеса, проте мають менший зовнішній діаметр ніж фрези, що працюють з радіальною подачею. Тобто, органічна похибка їх профілювання більша.

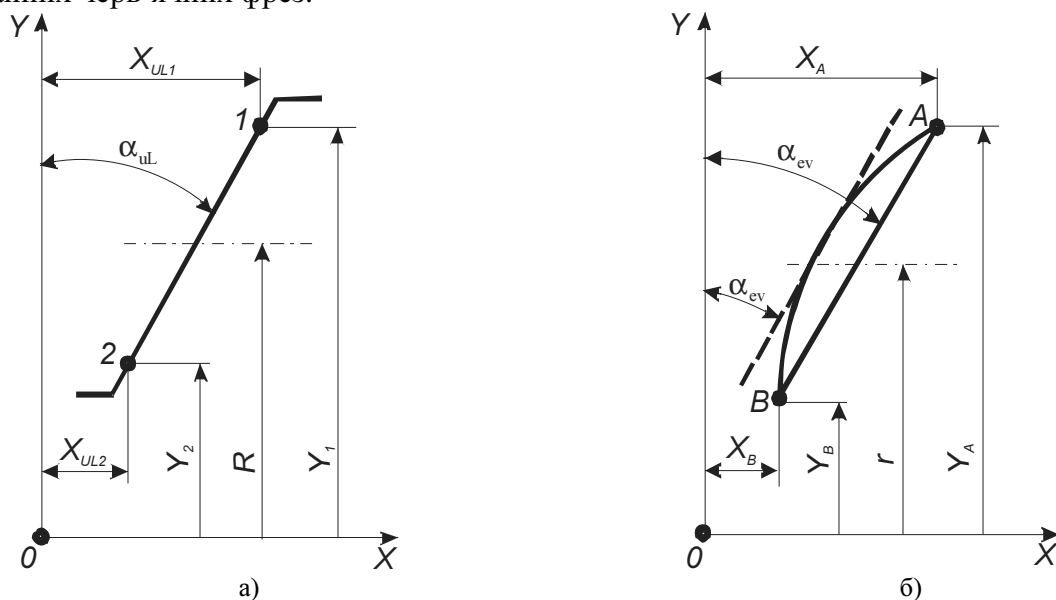
Таким чином, необхідно провести дослідження органічної похибки профілювання нових черв'ячних фрез, що працюють з тангенціальною подачею.

**Мета роботи.** Поставимо за мету роботи визначення органічної похибки профілювання черв'ячних фрез з поділенням на три частини по висоті профілем інструментальної рейки, що працюють з тангенціальною подачею.

**Матеріал і результати дослідження.** Відомо [5], що профілювання черв'ячних фрез на основі архімедового черв'яка є наближеним методом. Точність цього наближення можна підвищити, якщо архімедовий черв'як зробити еквівалентним евольвентному черв'яку. Для цього необхідно кут профілю архімедового черв'яка  $\alpha_u$  необхідно прийняти таким, щоб він дорівнював куту профілю евольвентного черв'яка  $\alpha_{ev}$  в осьовому перерізі [5], тобто:

$$\alpha_u = \alpha_{ev}. \quad (1)$$

На рис.1 зображено розрахункову схему профілю черв'ячної фрези в осьовому перерізі [5], що використовується для визначення органічної похибки профілювання звичайних черв'ячних фрез.



а – зубці архімедової черв'ячної фрези, б – витки евольвентного початкового черв'яка  
Рисунок 1 – Профіль черв'ячної фрези в осьовому перерізі за [5]

На рис.1, а зображено ліву частину зубця архімедової черв'ячної фрези з нанесеними характерними точками 1( $X_{u1}$ ;  $Y_1$ ) та 2( $X_{u2}$ ;  $Y_2$ ), а на рис.1, б – ліву частину витка евольвентного початкового черв'яка з нанесеними характерними точками А( $X_A$ ;  $Y_A$ ) та В( $X_B$ ;  $Y_B$ ).

Також відомо[5], що дотична до витка евольвентного черв'яка, яка показана на рис.1,б штриховою лінією, проведена в точці на ділільному діаметрі має кут  $\alpha_{ev}$  з віссю Y.

Відомо [5], що черв'ячні фрези стандартної конструкції з нульовим переднім кутом мають робочу висоту профілю зубців, що дорівнює висоті профілю витків початкового черв'яка та для нормального не коригованого зачеплення складає  $2m_n$ .

Тобто, розрахункові точки на рис.1,а та на рис.1,б лежать симетрично по висоті до ділильного діаметру на відстані  $2m_n$  одна від одної.

Для черв'ячних фрез з поділенням на три частини по висоті була розроблена нова розрахункова схема, що наведена на рис.2.

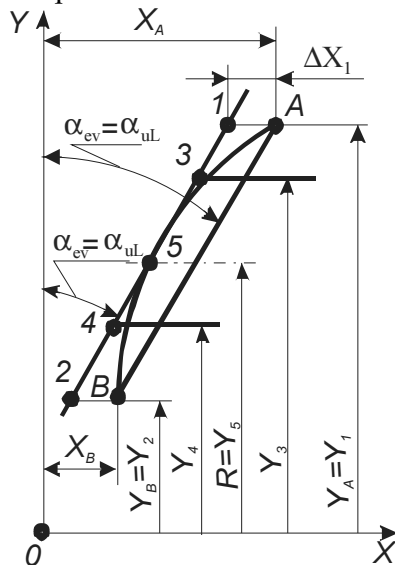


Рисунок 2 – Профіль черв'ячної фрези з поділенням профілем інструментальної рейки в осьовому перерізі

Ділянка між точками 2( $X_{u1}; Y_1$ ) та 4( $X_{u4}; Y_4$ ) відповідає зубцю фрези для першого проходу, ділянка між точками 4( $X_{u4}; Y_4$ ) та 3( $X_{u3}; Y_3$ ) – зубцю фрези для другого проходу, а ділянка між точками 3( $X_{u3}; Y_3$ ) та 1( $X_{u1}; Y_1$ ) – зубцю фрези для третього проходу. Точка 5 ( $X_{u5}; Y_5$ ) лежить на ділильному діаметрі і при прийнятій схемі в ній органічна похибка профілювання відсутня. Органічна похибка профілювання, наприклад в точці 1,  $\Delta X_1$  визначається між реальним положенням точки 1 на поверхні зубця архімедової черв'ячної фрези та теоретично точним положенням відповідної точки А на поверхні витка евольвентного початкового черв'яка.

Знайдемо координати розрахункових точок. З рис.2 видно, що:

$$Y_1 = Y_A = R + m_n, \quad (2)$$

$$Y_2 = Y_B = R - m_n, \quad (3)$$

$$Y_5 = R. \quad (4)$$

На основі робіт [3,4] отримаємо:

$$Y_3 = R_{a0} - (1/3)h_0 + 0,25m_n, \quad (5)$$

$$Y_4 = R_{a0} - (2/3)h_0 + 0,25m_n, \quad (6)$$

де  $R_{a0}$  – радіус вершин черв'ячної фрези;

$h_0$  – висота зубця черв'ячної фрези без поділення профілю інструментальної рейки.

Координата X розглянутих вище точок 1–5 знаходиться через координату Y помножену на тангенс кута  $\alpha_{ul}$ . Методика визначення кута  $\alpha_{ul}$  наведена в [5].

Відомо [5], що кут  $\alpha_{ev}$  можна визначити так:

$$\text{tg}(\alpha_{ev}) = \text{tg}(\alpha_n) / \cos(\gamma_{m0}), \quad (7)$$

де  $\alpha_n$  – кут профілю початкового контуру,  $\alpha_n = 20^\circ$ ;

$\gamma_{m0}$  – кут підйому витка на середньому розрахунковому діаметрі.

Середній розрахунковий діаметр визначався відповідно до роботи [6]:

$$d_{m0} = d_{a0} - 2h_{a0} - 0,3K, \quad (8)$$

де  $h_{a0}$  – висота головки зубця черв'ячної фрези без поділення профілю інструментальної рейки;

$K$  – величина затилування.

На основі наведених вище формул (2)–(8) проводилися відповідні розрахунки за допомогою MathCAD.

Розрахункові значення коефіцієнта діаметра черв'яка приймалися відповідно до ГОСТ 2144 та нормалі верстатобудування Н24-5.

Результати розрахунків органічної похибки профілювання черв'ячної фрези з поділенням по висоті на три частини поділення профілем інструментальної рейки наведено в табл.1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків

$m_n$ , мм	$q$	Висота розрахункової точки $Y$ , мм				Органічна похибка профілювання $\Delta X$ , $10^{-3}$ мм			
		Точка 1, $Y_1$	Точка 3, $Y_3$	Точка 4, $Y_4$	Точка 2, $Y_2$	Точка 1, $\Delta X_1$	Точка 3, $\Delta X_3$	Точка 4, $\Delta X_4$	Точка 2, $\Delta X_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30	16,050	15,717	14,883	14,050	0,7216	0,7220	0,7230	0,7239
	22	12,050	11,717	10,883	10,050	0,7139	0,7143	0,7151	0,7155
	20	11,050	10,717	9,883	9,050	0,7086	0,7090	0,7099	0,7102
	16	9,050	8,717	7,833	7,050	0,6948	0,6953	0,6961	0,6960
	12,5	7,300	6,967	6,133	5,300	0,6773	0,6779	0,6785	0,6769
	10	6,050	5,717	4,883	4,050	0,6585	0,6592	0,6591	0,6547
2	26	28,100	27,433	25,767	24,100	1,4362	1,4370	1,4389	1,4404
	19	21,100	20,433	18,767	17,100	1,4103	1,4112	1,4130	1,4135
	16	18,100	17,433	15,767	14,100	1,3895	1,3906	1,3923	1,3920
	12,5	14,600	13,933	12,267	10,600	1,3656	1,3664	1,3662	1,3618
	10	12,100	11,433	9,767	8,100	1,3294	1,3303	1,3283	1,3178
	8	10,100	9,433	7,767	6,100	1,2925	1,2930	1,2869	1,2630
2,5	24	32,625	31,792	29,708	27,625	1,7873	1,7885	1,7909	1,7926
	18	25,125	24,292	22,208	20,125	1,7558	1,7571	1,7592	1,7595
	16	22,625	21,792	19,708	17,625	1,7369	1,7383	1,7404	1,7399
	12,5	18,250	17,417	15,333	13,250	1,7042	1,7053	1,7054	1,7002
	10	15,125	14,292	12,208	10,125	1,6587	1,6599	1,6579	1,6452
	8	12,625	11,792	9,708	7,625	1,6124	1,6132	1,6061	1,5768
3	22	36,150	35,150	32,650	30,150	2,1328	2,1342	2,1372	2,1390
	17	28,650	27,650	25,150	22,650	2,0947	2,0963	2,0989	2,0991
	16	27,150	26,150	23,650	21,150	2,0843	2,0860	2,0884	2,0879
	12,5	21,900	20,900	18,400	15,900	2,0429	2,0443	2,0447	2,0387
	10	18,150	17,150	14,650	12,150	1,9879	1,9895	1,9875	1,9725
	8	15,150	14,150	11,650	9,150	1,9323	1,9335	1,9254	1,8906
3,5	20	38,675	37,508	34,592	31,675	2,4709	2,4727	2,4763	2,4781
	16	31,675	30,508	27,592	24,675	2,4317	2,4336	2,4365	2,4359
	12,5	25,550	24,383	21,467	18,550	2,3815	2,3833	2,3839	2,3771
	10	21,175	20,008	17,092	14,175	2,3172	2,3191	2,3171	2,2999
	8	17,675	16,508	13,592	10,675	2,2652	2,2658	2,2546	2,2122

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	19	42,200	40,867	37,533	34,200	2,8206	2,8225	2,8259	2,8271
	15	34,200	32,867	29,533	26,200	2,7592	2,7616	2,7650	2,7636
	12,5	29,200	27,867	24,533	21,200	2,7201	2,7222	2,7232	2,7156
	10	24,200	22,867	19,533	16,200	2,6589	2,6605	2,6567	2,6356
	8	20,200	18,867	15,533	12,200	2,5850	2,5860	2,5738	2,5260
5	18	50,250	48,583	44,416	40,250	3,5117	3,5141	3,5183	3,5191
	14	40,250	38,583	34,417	30,250	3,4380	3,4406	3,4432	3,4383
	12,5	36,500	34,833	30,667	26,500	3,4084	3,4107	3,4109	3,4004
	10	30,250	28,583	24,417	20,250	3,3174	3,3198	3,3158	3,2903
	8	25,250	23,583	19,417	15,250	3,2248	3,2265	3,2123	3,1537
6	17	57,300	55,300	50,300	45,300	4,1893	4,1926	4,1978	4,1982
	13	45,300	43,300	38,300	33,300	4,1050	4,1077	4,1088	4,0986
	12,5	43,800	41,800	36,800	31,800	4,0857	4,0886	4,0894	4,0773
	10	36,300	34,300	29,300	24,300	3,9759	3,9790	3,9750	3,9451
	8	30,300	28,300	23,300	18,300	3,8776	3,8791	3,8607	3,7890
8	15	68,400	65,733	59,067	52,400	5,5184	5,5232	5,5300	5,5271
	11	52,400	49,733	43,067	36,400	5,3620	5,3663	5,3648	5,3378
	10	48,400	45,733	39,067	32,400	5,3053	5,3093	5,3033	5,2629
	8	40,400	37,733	31,067	24,400	5,1701	5,1721	5,1476	5,0521
10	15	85,500	82,167	73,833	65,500	6,8980	6,9040	6,9125	6,9089
	11	65,500	62,167	53,833	45,500	6,7083	6,7134	6,7107	6,6762
	10	60,500	57,167	48,833	40,500	6,6348	6,6396	6,6317	6,5807
	8	50,500	47,167	38,833	30,500	6,4496	6,4530	6,4246	6,3073
12	15	102,60	98,600	88,600	78,600	8,2776	8,2848	8,2950	8,2907
	11	78,600	74,600	64,600	54,600	8,0430	8,0495	8,0472	8,0067
	10	72,600	68,600	58,600	48,600	7,9642	7,9699	7,9600	7,8984
	8	60,600	56,600	46,600	36,600	7,7422	7,7460	7,7115	7,5703
16	15	136,80	131,47	118,13	104,80	11,0474	11,0566	11,0692	11,0624
	11	104,80	99,467	86,133	72,800	10,7356	10,7436	10,7391	10,6836
	10	96,800	91,467	78,133	64,800	10,6231	10,6304	10,6167	10,5340
	8	80,80	75,467	62,133	48,800	10,3272	10,3321	10,2853	10,0964

Аналіз табл.1 показує, що органічна похибка профілювання нових черв'ячних фрез з поділеною на три частини по висоті інструментальною рейкою суттєво відрізняється як за значенням, так і за розподілом по висоті зубця від відповідного показника стандартних черв'ячних фрез.

Аналіз табл.1 показує, що найменшу органічну похибку профілювання мають зубці фрези для другого проходу. Слід відмітити, що в межах зубця фрези для другого проходу органічна похибка зростає від розрахункової точки 5 як при наближенні до розрахункової точки 3 в сторону головки зубця, так і при наближенні до розрахункової точки 4 в сторону ніжки зубця. В розрахунковій точці 5 органічна похибка профілювання дорівнює нулю.

Аналіз табл.1 показує, що в межах зубця фрези для першого проходу органічна похибка зростає від розрахункової точки 4 в напрямку розрахункової точки 2, тобто в сторону ніжки зубця. Таким чином, зубці фрези для першого проходу мають максимальну органічну похибку профілювання на висоті радіуса западин черв'ячної фрези.

Аналіз табл.1 показує, що в межах зубця фрези для третього проходу органічна похибка зростає від розрахункової точки 3 в напрямку розрахункової точки 1, тобто в сторону головки зубця. Таким чином, зубці фрези для третього проходу мають максимальну органічну похибку профілювання на висоті радіуса вершин черв'ячної фрези.

Тобто, мета даної роботи досягнута.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень було встановлено, що:

1. Найменшу органічну похибку профілювання мають зубці фрези для другого проходу, причому органічна похибка зростає від розрахункової точки 5 як при наближенні до розрахункової точки 3 в сторону головки зубця, так і при наближенні до розрахункової точки 4 в сторону ніжки зубця;

2. Зубці фрези для першого проходу мають максимальну органічну похибку профілювання на висоті радіуса западин черв'ячної фрези;

3. Зубці фрези для третього проходу мають максимальну органічну похибку профілювання на висоті радіуса вершин черв'ячної фрези.

## Список літератури

1. Гончаров А.М. Повышение точности профилирования червячных фрез с оптимальными передними углами. – Резание и инструмент. Харьков, 1990, №43, С.64-68.
2. Тайц В.А. Точность и контроль зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1972. – 367 с.
3. Ковришкін М.О., Садченко О.І. Підвищення точності механічної обробки черв'ячних коліс черв'ячних передач з угнутих профілем витка черв'яка // Машинобудування України очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали сьомої Всеукраїнської молодіжної науково-технічної конференції / Під ред. Копитчука М.Б. та ін. – Одеса: ОНПУ, 2007. – С.54–55.
4. Ковришкін Н.А., Садченко О.І. Инструментальное обеспечение для изготовления червячных колес червячных передач с вогнутым профилем витка // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Проблемы механического привода. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2008. – Вып.29. – С.69-76.
5. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов: Учеб. пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
6. Справочник инструментальщика / И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

*Визначено погрешність профілювання від заміни евольвентного вихідного червяка на архимедов вихідний червяк для червячних фрез з розділеним по висоті на три частини профілем інструментальної рейки. Предложена схема и проведены теоретические исследования для определения погрешности профилирования новых червячных фрез.*

The error of profiling from replacement эвольвентного an initial worm on архимедов an initial worm for worm mills with divided on height on three parts a structure tool is determined. The circuit is offered and theoretical researches for definition of an error of profiling of new worm mills are carried out.